



主な研究テーマ

- 1) 電気・磁場・機械刺激による神経 - 筋 - 骨組織への影響とその機序
- 2) 運動誘発性筋損傷の機序

令和元年度の研究内容とその成果

1) 私たちは筋肉（骨格筋）の活動（収縮）により身体を自由に（随意的に）動かしますが、この筋収縮の力は腱を介して骨に伝わり、骨に機械的刺激を与えます。骨はこの微妙な機械的刺激を感受するセンサーを持っており、センサーの働きを介して最終的に骨の健康維持に貢献します。しかし、様々な事情で運動ができない（したくない）、自分の意思で筋収縮ができないといったケースでは、物理療法として電気刺激が古くから使われており、様々な目的に合わせたプロトコルが開発されています。私どもは、比較的電気刺激の痛みが少ない低頻度刺激を用いて筋収縮を誘発し、不動で萎縮する筋だけでなく骨組織が改善される条件を若齢期や高齢期の実験動物で調べてきました。しかしながら、実際の筋収縮でどの程度生きた骨がひずむかのデータが世の中にほとんどない状況でしたので、それを実測できるかチャレンジしてみました。

結論として、種々工夫をして計測装置を製作した結果、生きた骨で実測可能となり、非常に弱い筋収縮力でも骨のひずみ

（strain）が計測され、荷重とひずみ量の強い相関、またひずみ速度（strain rate）との相関関係がみられました。また、どの程度のひずみがあれば骨形成に有効に働くかの境界も検証されました。さらに筋収縮の様式の違いによっても骨ひずみ程度やひずみ速度が異なることが解りました。加えて骨形成には、ひずみ速度が重要な因子であることも骨強度の測定やCT撮影による骨内部の構造解析を通して示唆されました。

以上のように、運動は骨の健康にも役立ちますが、その効果が得られる仕組みが解れば、それぞれの生活事情に応じてアプローチする処方法のバリエーションが多数考案でき、運動処方の多様性につながります。このことは、運動の効果を得るための方法の選択肢が増え、「個人の都合（好み）に合わせたトレーニング方法」が世の中に広まっていくメリットがあると考えます。

2) 筋肉が壊れて再生することについて：強い筋収縮を繰り返すと筋組織（筋線維）が損傷します。特に、筋肉が収縮して力を発揮しつつ、外力によって筋肉自体が引き

伸ばされてしまう状況（伸張性収縮）で誘発されやすいことが解っています。これを繰り返すと翌日などに筋肉の痛み（遅発性筋痛）も並行して生じますが、機序として必ずしも筋損傷＝筋痛というわけではありません。我々は、この運動誘発性筋損傷を抑える薬剤の検証と、一度この筋損傷を経験した筋は二度目に同様の運動をしても筋損傷しにくくなる（反復効果の）仕組みにつながる背景、特徴について実験動物で調べました。

結論として、伸張性筋収縮で損傷する筋線維では細胞膜透過性が亢進しており、一部分が2－3倍膨化して、細胞内にカルシウム（イオン）が多く存在する特徴がみられました。そこで引っ張り刺激で細胞内に流入するカルシウムイオンの通路を塞ぐ薬剤を投与すると筋損傷を防止できました。損傷が示唆される筋線維内部にはマクロファージ（食細胞）が多く集まっており、同時に筋細胞の修復に関与する筋サテライト細胞も集まっていることが解りました。また、伸張性筋収縮後には筋力は半減し、元のレベルに回復するまで10日以上、長いケースでは4週間程度かかり、トレーニングとして伸張性筋収縮を過剰に行うと筋力関連のパフォーマンスに影響する期間が長い可能性が伺えました。また筋力低下率や筋損傷率からみた反復効果は、少なくとも4週間は持続することが示唆されました。以上のことは、筋電気刺激処方を含め、筋をトレーニングする際の損傷をコントロールすることにもつながります。

これからの研究の展望

これらの研究成果を通して、運動したくてもできない方々、低体力の方々に筋肉や骨の健康を維持できるプログラムの提供に対してこれからも継続して貢献していきたいと思います。またスポーツ実践者、アスリートへも応用可能性が広がります。また、低強度条件や高齢期の場合では効果が薄いのですが、これを改善するための方策として、磁場刺激を活用する方法などの効果検証に取り組んでいます。